

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN
PENURUNAN TEKANAN ALIRAN FLUIDA DISEKITAR
PIN-FIN COOLING BENTUK *ELLIPS* SUSUNAN
STAGGERED PADA SUDU TURBIN GAS**



**Diajukan Untuk Memenuhi Tugas dan Syarat-Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Disusun :

EKNO SAPUTRO

D200.11.0101

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2016

PERNYATAAN KEASLIAN TOPIK TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa judul Tugas Akhir :

“KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN *FLUIDA* DISEKITAR *PIN-FIN COOLING* BENTUK *ELLIPS* SUSUNAN *STAGGERED* PADA SUDU TURBIN GAS”, yang saya ajukan kepada Kepala Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan dari penelitian atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di lingkungan kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, Januari 2016

Yang menyatakan,


Ekno Saputro

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir berjudul "**KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN *FLUIDA* DISEKITAR *PIN-FIN COOLING* BENTUK *ELLIPS* SUSUNAN *STAGGERED* PADA SUDU TURBIN GAS**", telah disetujui pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **EKNO SAPUTRO**

NIM : **D200.11.0101**

Disetujui pada

Hari : **Selasa**

Tanggal : **2 Februari 2016**

Pembimbing Utama



(**Marwan Effendy, ST., MT., Ph.D**)

Pembimbing Pendamping



(**Ir. Sarjito, MT., Ph.D**)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul "KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN *FLUIDA* DISEKITAR *PIN-FIN COOLING* BENTUK *ELLIPS* SUSUNAN *STAGGERED* PADA SUDU TURBIN GAS", telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan telah dinyatakan sah untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **EKNO SAPUTRO**

NIM : **D200.11.0101**

Disahkan pada

Hari : *Kamis*

Tanggal : *11 Februari 2016*

Tim Penguji :

Ketua : **Marwan Effendy, ST.,MT.,Ph.D**

Anggota 1 : **Ir. Sarjito, MT.,Ph.D**

Anggota 2 : **Ir. Tri Tjahjono, MT**



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D

Ketua Jurusan,

Tri Widodo Besar R,ST.,MSc., Ph.D

LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Berdasarkan surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Nomor 150/A.3-II/TM/TA/V/2015. Tanggal 07 Mei 2015

dengan ini :

Nama : Marwan Effendy, Ph.D
Pangkat/Jabatan : Lektor Kepala
Kedudukan : Pembimbing Utama / Pembimbing Kedua *)
XXXXXXXXXXXXXXX
memberikan Soal Tugas Akhir kepada mahasiswa :

Nama : Ekno Saputro
Nomor Induk : D 200 110 101
NIRM : -
Jurusan/Semester : Teknik Mesin / Akhir
Judul/Topik : *KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN
FLUIDA DISEKITAR PIN-FIN COOLING BENTUK ELLIPS SUSUNAN STAGGERED*
Rincian Soal/Tugas : *PADA SUDU TURBIN GAS.*

Lakukan simulasi dengan fluent untuk pendekatan numerik pada topic tersebut.

Demikian soal tugas akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 07 Mei 2015
Pembimbing



Marwan Effendy, Ph.D

Keterangan :

*) Coret salah satu

1. Warna biru untuk Kajur

2. Warna kuning untuk Pembimbing I

3. Warna merah untuk Pembimbing II

4. Warna putih untuk mahasiswa

CC. : Sarjito, Ph.D

Lektor Kepala

MOTTO

“Lee dadio wong gede senjata bapak ibuk iki wong cilek, nanging wong gede sing duweni roso adhap asor lan jujur iku kunci uripe lee”

(#Ibunda tersayang)

“Gunakanlah kesempatanmu hari ini, Anda tidak boleh bergantung pada hari esok, Perhatikanlah hari ini!!!” (#Penulis)

“Berbahagialah orang yang menahan pandangan dan lisan yang tidak terjaga, selain mengotori hati juga menjerumuskan dalam perbuatan dan perkataan. Minimal sia-sia dan maksimalnya maksiat. Kemampuan menahan lisan insya Allah akan lebih banyak membawa keselamatan dibandingkan dengan orang-orang yang banyak bicara. Mereka banyak peluang tergelincir dengan kata-katanya, berlumur dosa, minimal menjadi malu. (#Aa Gym)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”
(#Al-Baqarah: 216)

“Always be yourself no matter what they say and never be anyone else even if they look better than you” (#Penulis)

HALAMAN PESEMBAHAN

Yang utama dari segalanya,

Sembah sujud syukur kepada Allah SWT, taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memberikanku petunjuk dengan islam. Atas karunia dan kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW. Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

“Ayahanda dan Ibunda Tersayang”

Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ayahanda (Nardi Karno) dan Ibunda (Suparmi) yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga dan tiada mungkin bisa kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ayah dan Ibu bahagia, karena kusadar selama ini belum bisa berbuat yang lebih dan aku sadar hanya engkaulah membuatku termotivasi dan selalu menyirami kasih sayang, mendoakanku, menasehatiku menjadi lebih baik.

Trima Kasih Ibu....Terima Kasih Ayah....

“My Brother dan Sister”

Untuk Kakakku (Esmanto), mbak (Ana), dan ponakanku (Gio), tiada paling mengharukan saat berkumpul bersama kalian, terima kasih atas doa dan bantuan kalian selama ini, hanya karya kecil ini yang dapat aku persembahkan. Maaf belum bisa menjadi panutan untuk kalian seutuhnya, tetapi aku akan selalu menjadi yang terbaik untuk kalian semua...

“Ukhti-Ku”

UntukMu yang menjadi pendamping hidupku...aku persembahkan karya kecilku ini untukMu..

“My Best Friend’s”

Buat sahabat seperjuangan skripsi, CFD-Grup (Adnan, Dhoni, Endri, Punto), terima kasih atas bantuan, doa, nasihat, hiburan, traktiran, ejekan, dan semangat yang kamu berikan selama aku kuliah, aku tidak akan melupakan itu semua. Buat sahabat dekatku Aris dan Dhoni dari awal kuliah sampai sekarang ini, aku tidak akan melupakan pertemanan ini sampai kita sukses diluar nanti. Dan teman-teman pesisir Gumpang (Maret, Thoriq, Punto, Da'im, Andi, Ony, Agus) dan teman-teman Mechanical Engineering 2011 yang belum sempat disebut namanya terima kasih atas bantuan kalian, semoga keakraban kita selalu terjaga..Amin..(M Solidarity)

“Dosen Pembimbing Tugas Akhirku”

Bapak Marwan Effendy, Ph.D dan Bapak Ir. Sarjito, MT., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir saya, terima kasih banyak Pak...saya sudah dibantu selama ini, dinasehati, diajari ilmu, dan pengalaman yang sangat berarti..

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN FLUIDA DISEKITAR PIN-FIN COOLING BENTUK ELLIPS SUSUNAN STAGGERED PADA SUDU TURBIN GAS

Ekno Saputro, Marwan Effendy, Sarjito

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

Email : exnosaputra@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menginvestigasi tentang kinerja pin-fin cooling bentuk ellips susunan staggered pada sudu turbin gas khususnya daerah trailing edge. Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi koefisien perpindahan panas (h) dan penurunan tekanan (ΔP) di sepanjang saluran pendingin.

Pemodelan menggunakan persamaan steady RANS dengan model turbulensi k -epsilon, investigasi dilakukan dengan dua tahap : pertama, mengvalidasi bentuk pin-fin cooling silinder dengan susunan staggered yang telah dipelajari secara eksperimen oleh peneliti lainnya. Struktur mesh ada lima jenis yang diterapkan dalam validasi mulai dari mesh kasar ($\Delta y^+ = 30,87$) sampai halus atau terbaik ($\Delta y^+ = 1,23$). Kedua, menginvestigasi lebih lanjut dari pin-fin cooling bentuk ellips susunan staggered dengan mengadopsi cara jalannya yang sama berdasarkan hasil optimal dari validasi. Dengan menjaga bentuk mesh yang sama dan kondisi batas dari percobaan, simulasi dilakukan pada berbagai bilangan Reynolds antara 9.000 dan 36.000.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa validasi dapat diterima dengan karakteristik mesh hingga 1,6 juta elemen dengan resolusi kerapatan mesh ($\Delta y^+ = 1,23$). Pempredisian menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD) terhadap data percobaan yang tersedia. Hasil validasi prediksi koefisien perpindahan panas mendekati sampai baris kedua. Simulasi pin-fin cooling bentuk ellips staggered menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas mengalami peningkatan di sepanjang saluran pendingin merupakan efek dari aliran turbulensi di permukaan pin. Hal ini sangat dipengaruhi oleh bentuk saluran dan meningkatkan saluran pendingin. Sementara, penurunan tekanan di dalam saluran pendingin menurun secara bertahap terhadap bilangan Reynolds yang lebih tinggi.

Kata kunci : Pin-Fin Cooling Ellips, Koefisien Perpindahan Panas, Trailing Edge, CFD.

CHARACTERISTICS HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP FLUID FLOW OF THE ELLIPTICAL PIN-FIN COOLING WITH STAGGERED ORIENTATION OF GAS TURBINE BLADE

Ekno Saputro, Marwan Effendy, Sarjito
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura
Email exnosaputra@gmail.com

ABSTRACT

This research investigates a performance of the elliptical pin-fins cooling of gas turbine blade in region trailing edge with staggered orientation. The aim of this research is to predict the heat transfer coefficient (HTC) and pressure drop (ΔP) along the cooling channel.

The steady RANS with k-epsilon turbulence model was performed by two-stages investigating: firstly, validation of an existing circular staggered array of pin-fin cooling that has been studied experimentally by other researcher. Five types structured mesh from coarse ($\Delta y^+ = 30.87$) to fine ($\Delta y^+ = 1.23$) were applied for validation simulations. Secondly, further investigation of the elliptical pin-fin cooling with staggered array was simulated by adopting the same manner of mesh generation based on the optimum result from validation. By keeping the same initials and boundary conditions as the experiment, simulations were performed on various Reynolds number between 9,000 and 36,000.

The simulation result indicates that validation can be considered acceptable by developing mesh up to 1.6 million elements with fine resolution ($\Delta y^+ = 1.23$). CFD predicted HTC and pressure loss are in good agreement against the available experimental data, although over-prediction of HTC occurs after approaching the second pin-fin rows. Simulations of the elliptical pin-fin cooling with staggered array shows that the surface HTC of pin-fin cooling increases along the cooling channel as the effect of flow turbulence around the pin-fin surface. It is highly influenced by the contraction channel and increasing the coolant flow. While, the pressure drop inside the cooling passage decreases gradually for higher Reynolds number.

Key words : Pin-Fin Cooling Ellips, Heat Transfer Coefficient, Trailing Edge, CFD.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah, dipanjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir berjudul “KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN *FLUIDA* DISEKITAR *PIN-FIN COOLING* BENTUK *ELLIPS* SUSUNAN *STAGGERED* PADA SUDU TURBIN GAS”, dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, dengan segala ketulusan dan keiklasan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Tri Widodo Besar Riyadi, ST.,MSc.,PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Marwan Effendy, ST, MT, Ph.D selaku pembimbing utama dalam penelitian Tugas Akhir saya.
4. Bapak Ir. Sarjito, MT.,Ph.D sebagai pembimbing kedua dalam penelitian Tugas Akhir saya.
5. Bapak Ir. Tri Tjahjono, MT sebagai dosen penguji pendadaran saya.
6. Bapak Agus Yulianto, MT sebagai pembimbing akademik saya.

7. Bapak Ir. Pramuko Ilmupurboputro, MT sebagai Kepala Laboratorium Teknik Mesin yang senantiasa memberikan ilmunya selama menjadi Asisten Laboratorium.
8. Laboratorium Teknik Mesin, dimana sebagai tempat dan pengalamanku menimba ilmu.
9. Dosen jurusan Teknik Mesin beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik.
10. Almamater Universitas Muhammadiyah Surakarta yang akan selalu aku junjung tinggi.
11. Tidak lupa kepada rekan-rekan yang ikut serta dalam menyelesaikan tugas akhir ini, saya ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca akan saya terima dengan senang hati. Besar harapan saya semoga laporan ini bermanfaat untuk pembaca.

Tugas akhir ini semoga dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pihak lain yang membutuhkan, Amin ya Robbaallamin.

Wasalammu'alaikum Wr.Wb.

Surakarta, Januari 2016


Ekno Saputro

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR	v
LEMBAR MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENTANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Peneliti	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka	6
2.2. Landasan Teori	9
2.2.1. Sistem Pendinginan Pada Sudu Turbin Gas	9
2.2.2. Geometri Pin <i>Ellips</i>	14
2.3. Mekanisme Perpindahan Panas	15
2.4. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi	16
2.5. Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>)	17

2.6. Bilangan Reynolds	18
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	20
3.2. Pengenalan ANSYS Fluent.....	21
3.2.1. Perangkat Untuk Pemodelan Geometri.....	21
3.3. Langkah-Langkah Komputasi dan Validasi.....	23
3.3.1. Membuat Geometri dari Eksperimen Sebelumnya..	25
3.3.2. Proses <i>Meshing</i>	25
3.3.3. Menentukan Tipe Batas dan Tipe Fluida	26
3.3.3.1. Penetapan Tipe Batas	26
3.3.3.2. Penetapan Tipe Fluida.....	28
3.3.4. Komputasi Model <i>Pin-fin Cooling</i> dengan ANSYS .	28
3.3.4.1. <i>Solution Setup</i>	28
3.3.4.2. <i>Solution</i>	31
3.3.4.3. <i>Results</i>	31
3.4. <i>Computational Fluid Dynamic</i>	32
 BAB IV VALIDASI DATA	
4.1. Variasi <i>Meshing</i>	33
4.2. Validasi Penurunan Tekanan	35
4.3. Validasi Koefisien Perpindahan Panas	38
 BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Pemodelan Geometri Pin <i>Ellips</i>	42
5.2. Hasil Simulasi Pin <i>Ellips</i>	44
5.2.1. Analisis Penurunan Tekanan Terhadap Angka Reynolds	44
5.2.2. Analisis Faktor Gesekan Terhadap Bilangan Reynolds	45
5.2.3. Analisis Koefisien Perpindahan Panas Pada	

Pin- <i>fin</i> Cooling.....	47
5.2.4. Analisis Kecepatan Aliran Fluida di Area	
Pin- <i>fin</i> Cooling.....	49
5.2.5. Analisis Koefisien Perpindahan Panas Pada	
Dinding Atas-Bawah (<i>End-Wall</i>)	51
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	53
6.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Mesin <i>turbojet</i>	1
Gambar 1.2 Variasi geometri pin	4
Gambar 2.1 Desain pin- <i>fin</i> dari Rokhadi	8
Gambar 2.2 Susunan pin <i>in-line</i> dan <i>staggered</i> dari Hwang dan Lui..	9
Gambar 2.3 Penampang <i>internal cooling</i> sudu turbin gas dan <i>trailing edge</i>	10
Gambar 2.4 <i>Convection cooling</i>	11
Gambar 2.5 <i>Impingement cooling</i>	11
Gambar 2.6 <i>Film cooling</i>	12
Gambar 2.7 <i>Pin-fin cooling</i>	13
Gambar 2.8 Dimensi pin <i>ellips</i> SEF dan N Fin.....	14
Gambar 2.9 Macam-macam perpindahan panas.....	15
Gambar 2.9 Perpindahan panas secara konveksi	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2 Desain pin- <i>fin</i> dengan SolidWork 2014	22
Gambar 3.3 <i>Meshing</i> pin <i>ellips</i> dengan Gambit	22
Gambar 3.4 Prosedur pemodelan dan simulasi	23
Gambar 3.5 Pendefinisian tipe batas	27
Gambar 4.1 Pengambilan data <i>pressure drop</i> pada CFD-post.....	36
Gambar 4.2 Korelasi faktor gesekan terhadap Re_{L0} tahap validasi.....	38
Gambar 4.3 Pengambilan data koefisien perpindahan panas pada CFD-post.....	40
Gambar 4.4 Pengaruh koefisien perpindahan panas terhadap bentuk <i>Pin-fin cooling</i> pada tahap validasi	41
Gambar 5.1 Desain geometri pin <i>ellips</i>	43
Gambar 5.2 <i>Meshing</i> pin <i>ellips</i>	43
Gambar 5.3 Korelasi bilangan Reynolds terhadap penurunan	45
Gambar 5.4 Korelasi Re_{L0} terhadap faktor gesekan	46

Gambar 5.5 Pengaruh koefisien perpindahan panas terhadap bentuk pin- <i>fin</i> cooling.....	47
Gambar 5.6 Visualisasi koefisien perpindahan panas	48
Gambar 5.7 Pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap bentuk pin- <i>fin</i> cooling	49
Gambar 5.8 Visualisasi separasi aliran.....	50
Gambar 5.9 Koefisien perpindahan panas pada dinding <i>End Wall</i> daerah L1	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tipe variasi mesh.....	34
Tabel 4.2 Hasil eksperimen faktor gesekan	36
Tabel 4.3 Parameter inlet.....	37
Tabel 4.4 Hasil eksperimen koefisien perpindahan panas.....	39
Tabel 4.5 Hasil validasi koefisien perpindahan panas	40

DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang (m^2)
A_{L0}	= luas penampang inlet (m^2)
A_{min}	= luas penampang antara pin (m^2)
D_d	= diameter hidraulik antara pin (m)
D_{hL0}	= diameter hidraulik pintu inlet (m)
f	= faktor gesekan
h	= koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$)
\dot{m}	= laju aliran massa (kg/s)
P_{in}	= tekanan fluida pintu inlet (Pa)
P_{out}	= tekanan fluida pintu outlet (Pa)
q	= laju perpindahan panas (Watt)
Re_{L0}	= Reynolds number inlet
Re_d	= Reynolds number pada area pin
T_f	= temperatur fluida yang dekat dinding (K)
T_w	= temperatur dinding (K)
v	= kecepatan udara rata-rata (m/s)
ρ	= massa jenis udara (kg/m^3)
μ	= viskositas dinamik udara ($kg/m.s$)